Über physikalische Forschungsart

Ferdinand Braun

ÜBER

PHYSIKALISCHE FORSCHUNGSART.

REDE

ZUR FEIER

DES GEBURTSTAGES SR. MAJESTÄT DES KAISERS

AM 27. JANUAR 1899

IN DER AULA DER

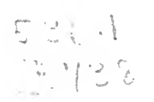
KAISER-WILHELMS-UNIVERSITÄT STRASSBURG

GEHALTEN VON

DR. **FERDINAND BRAUN**
O. PROFESSOR DER PHYSIK.

STRASSBURG
J. H. ED. HEITZ (HEITZ & MÜNDEL)
1899.

Der Rede, so wie sie gehalten wurde, habe ich nur *einen* Satz pag. 23 hinzugefügt als meine subjective, aber durchaus nicht mehr allein stehende Ueberzeugung. Vielmehr ist gerade die besondere Form des Vorschlages entstanden in Kreisen hiesiger weitschauender Männer, die sowohl ausserhalb als innerhalb der Universität stehen. Möge die Bemerkung dazu beitragen, die zeitgemässe Frage durch Meinungsaustausch in Fluss zu bringen! An Gegnern wird es nicht fehlen.



Hochansehnliche Versammlung!

Der Gedanke, welcher am heutigen Tage unsere ganze Nation beseelt: dem Gefühle der Verehrung, sowie der Versicherung unwandelbarer Treue gegen unseren erhabenen Kaiser Ausdruck zu geben, dem mächtigen Schutz- und Schirmherrn des Reiches unsere innigen, ehrfurchtsvollen Wünsche darzubringen, hat auch uns in dieser festlichen Stunde zusammengeführt. Akademischer Brauch pflegt diese Feier in die Form zu kleiden, dass ein Gegenstand aus einem engeren Wissensgebiet vor weiteren Kreisen, vor Vertretern aller Wissenschaften besprochen wird — eine glückliche Form, welche dem heute sich mächtig hervordrängenden stolzen Bewusstsein der Grösse und Einheit unseres politischen Reiches gegenüber, erinnert an die Einheit des grossen Reiches der Wissenschaften, auf dessen umfassendem Boden unsere deutschen Universitäten erwachsen sind.

Dieser Tradition mich anschliessend, möchte ich Sie heute zu einer naturwissenschaftlichen Betrachtung einladen. Ich will versuchen, an einigen Beispielen zu zeigen, in welcher Weise und mit welchen Mit-

teln der Naturforscher zu seinen Resultaten gelangt. Ich werde mich wesentlich auf Einzelbilder beschränken; die Antworten dagegen auf die reizvolleren Fragen: wo die Küstengebiete sich abgrenzen, auf denen der Fuss des Forschers mit Sicherheit wandelt, welches die Leitsterne sind, nach denen er seine Fahrzeuge lenkt, Land suchend, auf dem Meere menschlicher Geistesbestrebungen, bis er sich, unbekannten Sternbildern gegenüber, an den Grenzen angelangt fühlt, von denen er nur noch sehnsuchtsvoll — nach der Atlantis spähend — einen Blick hinauswirft auf die unermesslich sich dehnende, uferlos verschwimmende Weite des Oceans — ich muss sie mehr andeuten, als dass ich sie scharf zu formuliren vermöchte. Und selbst das Wenige, was ich als Anregung zu einer Methodenlehre beibringe, entnehme ich einem beschränkten Gebiete, meinem Specialfache, der Physik, dem ersten Grundsatze jeder wissenschaftlichen Methodik mich fügend, wonach man nur von dem reden soll, was man versteht — ein Grundsatz, der eigentlich auch im öffentlichen, insbesondere dem politischen Leben gelten sollte.

Unsere heutige exacte Forschung beginnt mit dem siebenzehnten Jahrhundert. Bis dahin wurde — wie bekannt und oft genug gesagt worden ist — Naturwissenschaft nicht nach der Natur, sondern nach Aristoteles studirt. Mit dieser Tradition brach Galiläi. Während Deutschland vom dreissigjährigen Kriege verwüstet wurde, stellte er seine Untersuchungen an und gab 1638 seine klassischen Discorsi

heraus. Er geht nicht etwa aus von neuen Entdeckungen, sondern von den einfachsten, längst bekannten Erfahrungen, von dem freien Fall schwerer Körper und bildet sich von ihnen aus die grundlegenden Begriffe der Mechanik. In ewig bewundernswerther Weise baute er durch streng logische Erwägung auf den Thatsachen auf, schälte die fundamentalen und einfachsten Vorstellungen aus dem Gewirre der Erscheinungen heraus, reconstruirte mit ihnen die Gesetze der Mechanik, ging mit mathematischen, meist geometrischen Hülfsmitteln vor, prüfte die Resultate an der Erfahrung, insbesondere an ad hoc ersonnenen Versuchen und liess sich von denselben weiter leiten. So ist Galiläi der Erfinder nicht nur der Theorie, sondern auch des zielbewussten Versuches. Der dritte und vierte Tag seiner Gespräche handelt, wie noch heute die Lehrbücher der Physik in dem betreffenden Abschnitte «von der gleichförmigen Bewegung, von der gleichförmig beschleunigten Bewegung und von der gewaltsamen Bewegung oder von den Wurfgeschossen».

Auf Galiläi's Schultern steht Newton mit seiner die Astronomie begründenden Erklärung der Planetenbewegung. Seine fünfzig Jahre nach Galiläi's Discorsi (1686) erschienenen Principia philosophiae naturalis mathematica eröffnen uns einen unverhüllten Einblick in die Entwickelung seiner Ideen. Wie er z. B. seinen ersten Schritt gethan hat, nämlich die Bewegung des Mondes um die Erde zu erklären, erläutert er sogar durch eine Figur. Nehmen wir an, wir stünden auf der Spitze eines hohen Berges, etwa im Schwarzwald, und würfen horizontal einen Stein. Er beschreibt eine Parabel und erreiche, vielleicht

in Appenweier, den Erdboden; wir vergrössern die Anfangsgeschwindigkeit, er fliege bis nach Offenburg; wir steigern dieselbe noch mehr, er falle in Basel auf die Erde; wir erhöhen sie noch weitar, er fliegt bis über das Mittelmeer, und Nichts hindert die Vorstellung, die Anfangsgeschwindigkeit so gross zu denken, dass er vielleicht (ob dies möglich ist, muss eine genauere mathematische Untersuchung zeigen) überhaupt den Boden nicht mehr erreicht, sondern als Trabant die Erde umkreist. Ein solcher Stein ist der Mond. Und indem Newton aus der Umlaufszeit des Mondes ausrechnete, dass derselbe, der 60 Erdradien vom Erdmittelpunkt entfernt ist, 60^2 mal weniger pro Sekunde fällt, als der Stein, von dem wir ausgingen, bekam er den ersten Anhalt, dass die Kraft nach dem Quadrate der Entfernung abnehme — ein Gesetz, welches er immer mehr verallgemeinerte und immer allgemeiner bestätigt fand.

Im Jahre 1820 machte Oersted die folgende Beobachtung: Als er durch einen vertical gestellten Drahtreifen einen elektrischen Strom leitete, stellte sich eine in der Mitte des Drahtreifen befindliche, auf einer Spitze schwebende Magnetnadel senkrecht zu der Kreisfläche. Lässt sich, so fragt der Forscher, diese Thatsache erweitern, über sich selbst hinausführen? — Denken wir uns die Magnetnadel fest und den stromdurchflossenen Drahtreifen beweglich, so sollte sich, da zwischen zwei aufeinander wirkenden Dingen offenbar Gegenseitigkeit bestehen muss, der Drahtkreis bewegen und sich senkrecht gegen die Magnetnadel stellen. Nun ist die Erde selber

ein Magnet — folglich muss sich der bewegliche Stromkreis auch einstellen wie eine Compassnadel. Denken wir uns den Drahtkreis auf beiden Seiten überspannt, etwa wie eine flache Militairtrommel, dann verhält er sich so, als wenn das eine Trommelfell nordmagnetisch, das andere südmagnetisch geworden wäre. Daraus ergibt sich als mögliche, wenn auch nicht nothwendige Vorstellung, dass auch zwei solche (trommelartigen) Stromkreise aufeinander wirken wie zwei Magnete. Alles dies fand Ampère (1822) bestätigt. Da nun aber der Magnet ein ihm genähertes Eisenstück selber magnetisch macht, so entstand durch weitere Erwägungen der folgende Versuch: Man umwickelte einen Eisenstab mit Draht und leitete durch den Draht einen elektrischen Strom; nun wurde nicht nur die Drahtspule, sondern auch das Eisenstück zu einem Magneten. Auf diese Weise konnte man die magnetischen Kräfte ausserordentlich verstärken und sie für wissenschaftliche und praktische Zwecke verwerthen. Die erste wirthschaftliche Anwendung geschah (1835) durch den amerikanischen Maler Morse in seinem noch heute vielfach benutzten und nach ihm benannten Telegraphen.

Sie sehen, wie sich hier aneinander schliessen: eine erste zufällige Beobachtung, eine streng logische Erweiterung derselben, eine bei Ausführung der Versuche sich fast von selber aufdrängende Vermuthung, die Prüfung und — in diesem Falle — experimentelle Bestätigung derselben, das Heranziehen einer weiteren Erfahrung, die Prüfung und Bestätigung des Schlusses, die Verstärkung der Wirkungen und endlich — durch den Amerikaner — die praktische Verwendung derselben. So drängt sich

Schluss an Schluss, Erfolg an Erfolg. «Den Zufall gibt die Vorsehung, zum Zweck muss ihn der Mensch gestalten.»

Ampère hat sein höchstes Ziel darin gesucht, die von ihm entdeckten Stromwirkungen auf ein Elementargesetz zurückzuführen, d. h. durch die Wirkung kleinster Stromtheile mathematisch auszudrücken. Dieses Bestreben war durch die grossen Erfolge, die Newton in der Astronomie errungen hatte, gewissermassen das Endziel aller Forschung. Kräfte auf Elementargesetze zurückzuführen, womöglich das Gesetz finden, nach welchem die Atome aufeinander wirken, schien der Weisheit letzter Schluss zu sein. [1]

Merkwürdig, dass aber gerade auf dem Boden, auf dem Newton's Philosophie erwachsen war, sich eine andere und, wie der Erfolg zeigte, für dieses Gebiet fruchtbarere Richtung anbahnte. Ein Mensch, der als Buchbinderlehrling gelernt hatte, den eigener Wunsch und glücklicher Zufall mit Sir Humphry Davy zusammen brachte, in dessen Laboratorium er Amanuensis wurde, der es in seinem wissenschaftlichen Streben sogar auf sich nahm, während einer längeren Reise die Verrichtungen eines Kammerdieners zu übernehmen gegen Sir Humphry und, was schwieriger war, gegen Lady Davy, ein Mann, erprobt bereits als Forscher auf chemischem und physikalischem Gebiet, begabt mit einer merkwürdigen Intuition, trat vierzig Jahre alt unbefangenen Sinnes an die Ampèreschen Entdeckungen heran — es war Michael Faraday. Ihm fehlte, was bei Galiläi und Newton so hervorragend war, die mathematische Schulung. Aber

vielleicht gerade desshalb fasste er die Thatsachen, man könnte sagen, in der naivesten, direktesten Weise auf. Er fragte nicht nach den fingirten Elementarwirkungen — für ihn war die Umgebung eines stromdurchflossenen Leiters einfach, wie der Versuch zeigte, ein Magnetfeld, ebenso wie die Umgebung eines Magneten ein veränderter Raum, mit neuen Zuständen, von neuen Kräften durchsetzt. Wie die Kräfte zu Stande kommen, ist ihm gleichgiltig — die Magnetnadel zeigt ihre Existenz und ihre Richtung an. Für ihn gab es, was Newton schon als unfassbar erklärt hatte, eine Fernewirkung nicht, die Kräfte, welche man an irgend einer Stelle beobachtet, haften nach ihm an diesem Orte des Feldes.

In Faraday'scher Auffassung würden wir z. B. sagen: ein Stein fällt, nicht weil die Erde ihn anzieht, sondern weil der die Erde umgebende Raum einen veränderten Zustand besitzt. Die Wurzeln eines Baumes treiben in der Richtung der Kraftlinien des Erdfeldes, der Stamm in der entgegengesetzten. Ueberall, wo wir — die Mittel mögen sein, welche sie wollen — ein gleiches Kraftfeld hervorbringen können, müssen die gleichen Wirkungen eintreten. In der That wachsen — wie schon vor Faraday bekannt war — auf einer rotirenden Scheibe, wo wir ein Feld der Centrifugalkraft erzeugen, die Wurzeln in der Richtung der Kraft, d. h. von der Axe weg, der Stamm dagegen nach der Axe hin.[2]

Es ist schwer zu sagen, wie man die Methode Faraday's bezeichnen soll. Sie ist eine Mischung kühner Phantasie mit oft tastenden, aber überaus geschickt angelegten Versuchen; ein nicht Haften an den ersten For-

men der Erscheinung, sondern ein sich Freimachen von den zufälligen Bedingungen, ein Verallgemeinern bis zu dem denkbar Aeussersten, aber stets — wo irgend möglich — an der Erfahrung geprüft und daher sicher.[3]

Was ich Ihnen seither anführte, waren grosse Probleme mit weiten Zielen. Fast zu der täglichen Arbeit des Experimentators gehören aber Aufgaben, deren Lösung meist zu bescheidenen Resultaten führt, Probleme, welche alle dadurch charakterisirt sind, dass es sich um eine auffallende Erscheinung, eine neue Beobachtung handelt und wo die Frage gestellt wird: lässt sich dieselbe aus seither Bekanntem erklären oder verbirgt sich dahinter eine neue Erscheinung? Das Schwierigste ist häufig, einen Angriffspunkt zu erspähen, d. h. überhaupt eine bestimmte und noch dazu experimentell behandelbare Frage zu stellen, auf welche der Versuch mit Ja oder Nein zu antworten hat. Leider antwortet er noch zu alledem fast immer zunächst ausweichend. Von der Geschicklichkeit der Fragestellung, von dem Gewicht der voraussichtlichen Antwort hängt der Erfolg ab, ganz ebenso wie bei dem Untersuchungsrichter. Ich kann Ihnen, ohne in naturwissenschaftliches Detail einzugehen, den modus procedendi durch ein auf ganz anderem Gebiet gelegenes, Ihnen Allen bekanntes Beispiel erläutern: ich meine Lessing's Methode in seinem Laokoon. Er geht aus von einer bestimmten Thatsache — dem Ausdruck des Schmerzes in dem Gesichte des Laokoon. Er stellt eine erste Frage, er discutirt sie, er zieht weitere Thatsachen heran, schöpfend aus der Fülle seiner

Belesenheit, ganz ebenso wie sich der Naturforscher aus weiteren Versuchen seine Belehrung holt; nachdem Lessing dieses Thatsachenmaterial neben einander gestellt hat, schliesst er einen Abschnitt mit den Worten: «und nun komme ich zu meiner Folgerung». So grenzt er sein Gebiet immer enger und enger ein, die nach links und rechts abzweigenden Wege werden ausgeschlossen, die Entscheidung drängt sich auf einen Weg zusammen. Und wenn endlich das Resultat gewonnen ist, so begnügt er sich damit so wenig wie der Naturforscher, sondern er stellt es auf alle möglichen Proben und wenn es diese ausgehalten hat, benutzt er es schliesslich, um Licht nach allen Seiten hin zu werfen, und seither Dunkles wird von einem einzigen Punkte aus erhellt. Ich kann mir vorstellen (ich weiss es aus Erfahrung), dass der erste Eindruck der Lessing'schen Schrift auf einen mit naturwissenschaftlichen Untersuchungen noch nicht Vertrauten der sein kann, dass er sich sagt: auf diesem Wege müssen auch naturwissenschaftliche Fragen erledigt werden.

Wie Galiläi mit der Scholastik brach, so säubert sich Lessing vorher seinen Boden mit den Worten: «Aus ein paar angenommenen Worterklärungen in der schönsten Ordnung Alles, was wir nur wollen, herzuleiten, darauf verstehen wir uns, trotz einer Nation der Welt» und fügt, gleich jenem hinzu, «er hoffe, dass seine Beispiele mehr nach der Quelle schmecken».

Ein anderes, durchaus an grundlegende naturwissenschaftliche Behandlung erinnerndes Beispiel bietet Kant. Er löst aus der Menge der ihn umschwirrenden, ungeordneten Thatsachen, tastend, prüfend, abwägend wie Galiläi und

Newton, Axiome heraus. Und soweit er lediglich auf diesen Axiomen aufbaut, hat er die vollkommensten, von keiner späteren Kritik erschütterten Erfolge erzielt.

Glückliches Herausfühlen des Wesentlichen — welches wir als Intuition bezeichnen — geschicktes Combiniren der Thatsachen, das ist für den Ausgangspunkt aller Untersuchungen, auf welchem Gebiete sie sich immer bewegen mögen, das Entscheidende: so bei Lessing, so bei Kant, so bei Galiläi und Newton.

Mit diesem Worte «geschickt» wird aber den empirischen Wissenschaften gegenüber oft eine ganz falsche Auffassung seitens der Laien verknüpft. Man denkt dabei zu häufig an manuelle Geschicklichkeit, an technische Fertigkeit, und unsere eigenen akademischen Anzeigen verführen dazu, wenn unterschieden wird zwischen praktischen Uebungen für Anfänger und für Geübtere.

Ein Beispiel statt vieler möge erörtern, was man unter geschicktem Experimentiren versteht: Rotirende Geschosse werden durch den Luftwiderstand bekanntlich während ihres Fluges zur Seite abgelenkt. Magnus wollte diese Erscheinung im Zimmer untersuchen. Er hängte frei beweglich ein Geschoss auf, brachte es durch Abziehen einer Schnur in Rotation um seine Axe und blies nun gegen das Geschoss einen starken Luftstrom. Er sagte sich dabei, dass es für die Wirkung gleichgültig sein müsse, ob sich das Geschoss gegen die Luft oder die Luft gegen das Geschoss bewegt. Wenn er in dieser Weise bequem den Vorgang allseitig untersuchen konnte, so ist dies «geschickt experimentirt».

Die Geschicklichkeit, pflegte der beste Mechaniker, den wir Jahrzehnte lang in Deutschland hatten, der «alte Sauerwald» in Berlin zu sagen, die Geschicklichkeit liegt nicht in der Hand, sondern im Kopf.

Gewiss kann auch Geschicklichkeit im gewöhnlichen Sinne des Wortes zur Erreichung, insbesondere dem raschen Erreichen eines experimentellen Zieles nützlich, unter Umständen sogar wesentlich sein. Ich möchte sie aber vergleichen mit der Findigkeit des oft unter die primitivsten Bedingungen versetzten Landschaftsmalers, der sich auf dem Firnfeld aus dem Eispickel eine Staffelei für seinen Skizzenblock, aus dem über den Kopf gelegten Lodenrock einen Malerschirm herstellt. Zur raschen Fixirung packender Beleuchtungseffekte kann ein solches Sichhelfenkönnen entscheidend sein, und so mag es wieder zur Geltung kommen in den Wirkungen eines Calame'schen Monte-Rosa-Bildes, in den sturmdurchpeitschten Eichen desselben Malers, in den die ganze Gewalt des wetterumzogenen, noch von Sonnenblicken durchsetzten Hochgebirges darstellenden Aquarellen eines Compton. Die hinreichende Erfüllung kleiner Nebenbedingungen kann zur Erreichung grosser Ziele nothwendige Voraussetzung werden.

«Es muss oft viel mehr Scharfsinn und Nachdenken aufgeboten werden, um ein ungehorsames Stück Messing oder Glas gefügig zu machen, als um den Plan der ganzen Untersuchung zu entwerfen.» Es ist kein Geringerer als Helmholtz, welcher in seiner Begrüssungsrede der Innsbrucker Naturforscherversammmlung (1869) diesen Ausspruch gethan hat.

Die unverdrossen heitere Arbeit der Naturforscher führte bald da, bald dort auf Thatsachen, auf Resultate, Erwägungen, Sätze, welche nach einem allgemeinen Zusammenhange hinwiesen. Ein solcher ist ausgesprochen in dem regulativen[4] (nicht directiven) Princip der Erhaltung der Energie. Herausgeahnt[5] schon Anfang des Jahrhunderts aus Thatsachen, welche einer gedanklichen Verknüpfung offenbar bedurften, drängte es sich unerkannt immer mehr an die Oberfläche, bis es in den 40er Jahren fast gleichzeitig von drei Forschern aufgespürt wurde; schwer formulirbar, fremdartig zunächst und doch, einmal ausgesprochen, den Stempel der Richtigkeit und Allgemeinheit auf seiner Stirn tragend, bewahrheitet inzwischen in allen seinen v e r s c h i e d e n artigsten Consequenzen, erscheint es uns heute sicher fast wie ein Axiom.

Nach ihm existirt, vergleichbar der unzerstörbaren Materie,[6] eine andere gleichfalls in Summa unveränderliche Grösse, die Energie des Weltalls. Alle m a t e r i e l l e n[7] Vorgänge sind aber Umwandlungen in der F o r m der Energie. So verwandeln wir mit der Dampfmaschine Wärme in die Rotationsenergie des Schwungrades, wir übertragen diese auf Dynamomaschinen und gewinnen daraus elektrische Energie, die wir fortführen, um entweder wieder Arbeit aus ihr zu erzielen oder sie in die Form von Wärme für Heizung, in die Form von Lichtenergie in den elektrischen Lampen umzusetzen oder als chemische Energie in Accumulatoren aufzuspeichern und so fort. Hat diese sich quantitativ immer gleich bleibende Grösse, deren steter F o r m e nwechsel aber das Leben der Welt bedingt, hat sie, fragt Helmholtz gelegent-

lich einer populären Rede, der Dichter geahnt mit den Worten:

> In Lebensfluthen, im Thatensturm
> Wall ich auf und ab,
> Webe hin und her,
> Geburt und Grab,
> Ein ewiges Meer,
> Ein wechselnd Weben,
> Ein glühend Leben.
> So schaff ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
> Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

Wenn wir alle Typen physikalischer Forschung — welche nicht entfernt erschöpft sind — in Beispielen aufgeführt hätten, so müssten wir keine Deutschen sein, wenn es uns nicht gelingen sollte, daraus auch ein System zu machen. Aber ich wage zu bezweifeln, dass wir damit Jemanden anleiten könnten zu wirklicher Forschung. Es würde mir vorkommen, als hätte man alle Arten von Witzen analysirt und systematisirt. Auch dies wäre möglich; aber gewiss würde Keiner durch das Studium eines solchen Compendiums lernen, selber Witze zu machen. Ganz zutreffend aber bezeichnet der wissenschaftliche Jargon das Entscheidende einer feinen Methode als den «Witz» des Ganzen.

Aehnlich wie ein Meister der Malerei, nach deren Behandlungsweise gefragt, erklärt: «Ausser einer gewissen erlernbaren Technik gibt es nur eine Leitregel: suche die Wirkung in der einfachsten Weise zu erreichen; die Probe liegt im Resultat» — so wollen auch wir uns mit der

ebenso lakonischen, als zutreffenden Regel begnügen: «Alle Mittel sind recht, suche das Ziel in der einfachsten Art zu erreichen. Beweise aber Dein Resultat, sei es durch logische Schlüsse auf unanfechtbarer Basis oder durch einwandfreie Thatsachen — oder am besten durch beides.»

Wenn ich es so ablehne, auf die Einzelmethoden mich einzulassen, so steht es anders mit der Frage nach der Methode überhaupt, ja es ist nicht nur zur Charakterisirung, sondern auch im Interesse der Erhaltung aussichtsvoller Naturforschung principiell wichtig sogar, diese Antwort zu geben und festzulegen.

Wir gehen aus von der Ueberzeugung der logischen Erkennbarkeit der Natur. Wir wenden den Causalitätsbegriff — über dessen Erwerbung und Umfang [8] man streiten kann — consequent an.

Wir setzen mit der Erkennbarkeit der Natur voraus, dass nicht nur alle bis jetzt bekannten, sondern auch alle noch zu findenden Thatsachen nach Kategorien unseres Verstandes angeordnet und logisch an einander gegliedert werden können, so dass sie wie Ursache und Wirkung erscheinen, ohne dass wir aber immer verlangen zu wissen, welches von beiden das prius, also nach gewöhnlichem Sprachgebrauch die Ursache, ist, so dass der Causalitätsbegriff thatsächlich verschwindet hinter dem einer eindeutigen umkehrbaren Zuordnung. [9] — Wir fordern ferner, dass die Erscheinungen nicht nur qualitativen logischen Gesetzen, sondern auch quantitativen [10] Beziehungen z. B. dem Energieprincip sich fügen.

Wir statuiren somit gewissermassen eine Einheit von Natur und Geist. Wir leugnen aber, dass diese Ein-

heit soweit gehe, dass wir die Welt der materiellen Erscheinungen aus unserem Geiste a priori construiren können. Dieser Punkt ist der entscheidendste und muss festgehalten werden. Die Tendenz deductiver Behandlung in dem damit abgelehnten Sinne hat in Deutschland die Naturwissenschaften eine Zeit lang schwer geschädigt. Der Naturwissenschaftler erkennt deren Sinn am besten, wenn er einige Seiten in den von Schelling (1805—1808) herausgegebenen «Jahrbüchern der Medicin als Wissenschaft» liest, wo in einer für Mediciner wie Nichtmediciner gleich verständlichen Sprache Krankheiten begrifflich construirt und curirt werden. Uns erscheint dies heutigen Tages absurd. Man muss aber die bissigen Bemerkungen eines galligen Liebig (ich citire nach seinem eigenen Urtheil über sich), man muss die ruhig und sachlich gehaltenen Berichte von Helmholtz lesen, um zu verstehen, wie diese ars philosophandi einen so erdrückend hemmenden Einfluss ausüben konnte, um zu begreifen, dass gewaltige Kräfte grosser Geister dazu gehörten, sich von dem Banne frei zu machen. Und wenn man bedenkt, wie gern sich gerade die phantasiebegabte Jugend auf Wege begiebt, auf denen sie den Himmel mühelos zu stürmen hofft, so ist es wohl geboten, von Zeit zu Zeit darauf hinzuweisen, w o die starken Wurzeln unserer Kraft ruhen.

Wir postulieren mit Kant nur, dass unser Geist die Fähigkeit hat, die Welt der Erscheinungen zu erkennen. In welcher Weise den leeren Fächern unseres Erkenntnissvermögens Inhalt gegeben wird, wissen wir zunächst nicht, ausser, dass es lediglich durch die Erfahrung geschieht.

Was wir a priori construiren, wäre wohl eine mögliche Natur, denn sie sei logisch, braucht aber nicht die wirkliche zu sein. Ein Weg deductiver Forschung besteht thatsächlich in der Construction solcher möglichen Naturen. Diesen Weg haben alle Forscher, nicht zum wenigsten Faraday betreten; und selbst bei dem scheinbar ganz inductiven Newton kann man sich des Gefühles nicht erwehren, dass seine wirklichen Entdeckungen divinatorisch anticipirt waren.[11] Mit gewissen Vorstellungen, wie immer sie erworben seien, sog. Arbeitshypothesen, darf die Phantasie des Forschers sich abgeben. Aber diese Vorstellungen müssen verfolgt werden bis zu einem realisirbaren Versuch. Gelingt derselbe, so ist der Kreis der Thatsachen erweitert, eine Entdeckung gemacht. Die Erfahrung lehrt, wie selten die aprioristische Construction mit der Wirklichkeit sich deckt.

Die Sicherheit der Resultate hat einem Theil der Naturwissenschaften das Epitheton der «exacten» eingetragen. Worin besteht sie? Sie ist begründet in der a priori geforderten, a posteriori stets bewahrheiteten Eindeutigkeit der materiellen Erscheinung.[12]

Der Erfolg der physikalischen Forschung wird aber wesentlich mit bedingt durch die Beschränkung des Zieles. Was wir darunter verstehen, möge ein Beispiel erläutern. Wenn durch die Hertz'schen Versuche nachgewiesen ist, dass elektrische Kräfte keine Fernewirkung haben, so heisst das für uns nur, dass eine elektrische Aenderung, welche an einem Orte entsteht, nicht momentan an einem entfernten als Kraft zur Geltung kommt, sondern sich durch den Raum fortpflanzt, und das Resul-

tat, dass dies mit Lichtgeschwindigkeit geschieht, hat für uns eine so weittragende Bedeutung, dass wir uns mit demselben reichlich genügen lassen. — Den Einwand dagegen, dass die begriffliche Schwierigkeit der Fernewirkung damit nur vom Endlichen ins Unendlichkleine verlegt, also nur um eine Stufe zurückgeschoben sei, erkennen wir vollständig an, nur haben wir kein greifbares Interesse für ihn; und die Frage, ob sich denn die Wirkung von Theilchen zu Theilchen ohne jeden Zwischenraum übertragen soll, betrachten wir als nicht mehr in unser Gebiet gehörig.

Soviel über die Methoden der Physik und über ihre selbstgezogenen Grenzen. Lassen Sie mich noch Einiges hinzufügen über die Stellung der axacten Forschung gegen zwei Nachbargebiete.

Man spricht so häufig von den Räthseln der Natur. Wenige vielleicht, welche dieses Bild gebrauchen, haben sich klar gemacht, wie glücklich dasselbe gewählt ist. Wie der über einem Räthsel Grübelnde, so hat auch der Naturforscher oft von einzelnen Anhaltspunkten auszugehen, zu vergleichen, zu prüfen, von Neuem sich umzusehen, bis er endlich, begünstigt oft nur von glücklichen Ideenassociationen, das Punctum saliens trifft und sich nun auf der richtigen Fährte fühlt.

Wir wissen, dass wir ein Räthsel lösen können — da es von einem uns gleich beschaffenen Geiste gestellt ist. Woher aber, frage ich, stammt diese unsere Ueberzeugung auch der Natur gegenüber? Man könnte denken,

wir hätten diese zuversichtliche Auffassung, durch den Erfolg ermuthigt, allmählich erworben. Dies gilt wohl für die Auswahl der Methode, aber es erklärt sich daraus nicht das in uns a priori liegende Streben. Denn auch derjenige, der jetzt noch das Perpetuum mobile sucht — und es gibt deren leider noch immer, welche aus der Geschichte menschlicher Irrthümer und menschlicher Erkenntnisse nichts gelernt haben, aber auch nichts lernen wollen — ich sage, auch dieser hoffnungslose Erfinder, der sein und seiner Familie Wohl einer Idee opfert, der verarmt, enttäuscht, vielleicht in geistiger Umnachtung sein Leben beschliesst — er wird geleitet von denselben dämonischen Gewalten, obschon sie ihn irre führen, deren Trieb auch der glücklichere Forscher auf sonnigem Pfade folgt.

Und ich frage weiter: wie kommt es, dass dieses instinctive, in jedem Menschen sich von Neuem erzeugende Suchen durch den Erfolg schliesslich gerechtfertigt erscheint? Mit anderen Worten: es könnten in der Natur gewisse Gesetze, z. B. das Princip der Erhaltung der Energie thatsächlich erfüllt sein, wir könnten uns vorstellen, dass wir sogar mit vollem Bewusstsein danach suchten und trotzdem das Princip nicht bestätigt fänden. Es würde dazu genügen, dass wir für irgend eine wesentlich ins Gewicht fallende Energieform keinen Sinn hätten.[13] Wenn wir nach Kant von den Dingen nur diejenigen, das Ding vielleicht nicht erschöpfenden Erscheinungsseiten kennen, welche unserem Erkenntnissvermögen adäquat sind — ist es nicht wunderbar, dass wir doch jedenfalls für die quantitativ wesentlichen Glieder eines Ringes sich ineinander

verwandelnder Energieformen Sinne und mittels unserer Logik[14] auch das Mass besitzen? Ist dies nur ein Zufall? Existiren vielleicht andere immanente Gesetze der Natur, welche wir Mangels genügender Organisation nie erkennen werden? Warum lässt uns unser natürliches Gefühl diese letztere Annahme abweisen?

Von hier zweigen sich fundamentale Fragen ab der Philosophie, der Metaphysik insbesondere, welche den Geist beschäftigen werden, so lange es Menschen gibt, die man als unlösbar vielleicht eine Zeit lang zurückstellen wird und welche sich doch immer wieder mit elementarer Gewalt aufdrängen werden, so klar man sich auch darüber sein mag, dass die Antwort nie eine abschliessende, sondern stets nur eine mit den augenblicklichen Kenntnissen harmonirende und daher fortwährend wechselnde sein wird. Dieser Compromiss des positiv Erkannten mit dem Drängen nach dem unerkannten, immer wieder durchgefühlten höheren Problem wird stets von Neuem geschlossen werden.

Der Dichter, welcher seine Gedanken über das Verhältniss der falschen Naturphilosophie zur Naturforschung ausklingen lässt in den warnenden Ruf:

Feindschaft sei zwischen Euch! Noch kommt das Bündniss zu frühe,
Wenn Ihr im Suchen Euch trennt, wird erst die Wahrheit erkannt —

derselbe fügt das Distichon dazu:

Welche wohl bleibt von allen den Philosophien? Ich weiss nicht;
Aber die Philosophie, hoff' ich, soll ewig bestehen.

So werden Philosophie und exacte Forschung stets in Fühlung bleiben.

Aber wie für das transscendentale, so gibt die Naturforschung ihre Resultate auch ab zur Verwerthung in ein nach der anderen Seite gelegenes Gebiet, das reale, der praktischen technischen Anwendung. Ein wissenschaftlicher Versuch kann in oft kurzer Zeit von grösser wirthschaftlicher Bedeutung werden.

Ein neueres Beispiel genüge. Ferraris brachte im Jahre 1888 (auf akustischen Analogien fussend) durch geeignet combinirte Wechselströme einen kleinen, hohlen Kupfercylinder, der an einem feinen Faden hing, in Rotation. Die leiseste Berührung genügte, ihn anzuhalten. Und schon vier Jahre nachher wurden nach demselben Princip von Lauffen nach Frankfurt, auf eine Entfernung, zu deren Durchmessen der Schnellzug vier Stunden gebraucht, 300 Pferdekräfte als elektrische Energie fortgeleitet. In Frankfurt leuchteten mehr als tausend Glühlampen auf, fing ein Wasserfall an zu strömen, wenn in Lauffen die Turbine ihre Arbeit auf die Dynamomaschine übertrug. Und heute werden ungezählte Pferdekräfte auf grosse Entfernung in derselben Weise zur Arbeit abgegeben vom waldumstandenen lieblichen Wasserfalle Tribergs, wie vom gewaltigen Doppelsturze des Niagara.

Wenn der Naturforschung aus dem Gebiete der Philosophie als Dank für das ihr dargereichte Material anregende Ideen zurückströmen, so ist die Technik in der Lage ausser einer ähnlichen idealen Gegenleistung ihren Dank auch noch in einer mehr praktischen, für experimentelle Wissenschaften besonders wünschenswerthen Form abzustatten.

Das schon länger vorhandene Gefühl, dass die

exacte Forschung an Bedeutung zunehmen werde, hat jedenfalls dazu beigetragen, dass sie bei Gründung unserer Universität reichlich an Mitteln bedacht wurde. Dieses Gefühl hat inzwischen nicht getrügt. Seit unserem nationalen Aufschwung hat das Volk der Dichter und Denker auch in allen modernen technischen Anwendungen eine Führerrolle übernommen. Und ich wage zu hoffen — denn die gleichen Bestrebungen regen sich allerorten — dass die Zeit nicht fern ist, wo die Universitäten und allen voran unsere Anstalt, welche sich rühmt, frei zu sein von veralteten Anschauungen, an die ihr seither ausschliesslich zufallende reine Forschung angliedert, etwa in Gestalt einer sechsten Fakultät, auch die praktisch angewendete Wissenschaft, um als zeitgemäss umgestaltete universitas selbstständig an den grossen Bewegungen theil zu nehmen, welche das 20te Jahrhundert bringen wird. Wenn Deutschland seither im Stande war, der Wissenschaft weiter und weiter reiche Unterstützung angedeihen zu lassen — trotz einer Nation der Welt — so kommt die gegenseitige Wirkung zwischen reiner Forschung und praktischer Verwerthung dabei schon heute mit zum Ausdruck.

Dass aber diese Wirkung sich in solchem Masse entwickeln konnte verdanken wir dem mit grösster Weisheit erhaltenen Frieden, dem weiten Blicke und der Energie unseres Kaisers, welcher der nationalen Arbeit stets neue Absatzgebiete erschliesst, welcher die überströmende Kraft des deutschen Volkes der Nation zu erhalten sucht und welcher neben seinen gewaltigen Aufgaben noch Zeit findet, allen Bewegungen auf wissenschaftlichem wie wirthschaftlichem Gebiete mit regem Interesse und bewunderns-

werther Intuition zu folgen. Dass dieser Zustand erhalten bleibe, ist unser stetiger Wunsch, der am heutigen Tage sich ganz besonders lebhaft hervordrängt und den wir in die Worte fassen: Gott erhalte, Gott schütze den Kaiser.

Anmerkungen.

[1] Dieses Bestreben nach Formulirung von Differentialgesetzen tritt heutigen Tages mehr zurück. Dass mit der Laplace'schen Vorstellung, wonach man aus dem als bekannt gedachten Kraftgesetz zwischen den Atomen und der zu einer Zeit gegebenen Configuration derselben (mit Einschluss aller nothwendigen Anfangsbedingungen) alle späteren und früheren Zustände des Universums sollte deduciren können, für psychische Vorgänge noch nichts erreicht sein würde, hat Du Bois-Reymond in seiner vielbesprochenen Rede über die Grenzen des Naturerkennens erörtert. Aber selbst für rein physikalische Erscheinungen denkt man z. Zt. nicht an Aufstellung solcher Gesetze, welche doch nothwendigerweise auch individuelle Eigenschaften — wie die hervorragende Magnetisirbarkeit des Eisens, electrische Leitfähigkeit der Metalle etc. — erklären müssten. Ja sogar, wenn man sich auf Vorgänge beschränkt, welche von der stofflichen Natur abstrahiren, zieht man vielfach die Discussion mit Integralgesetzen oder energetischen Betrachtungen vor, während noch 1847 Helmholtz die Zurückführung auf Centralkräfte als die endliche Aufgabe der physischen Naturforschung betrachtete (Erhaltung der Kraft, p. 6. 1847).

[2] In letzter Linie kann ich den Grund nur suchen in der kleinen hydrostatischen Druckdifferenz, welche zwischen der Unter- und Oberseite einer Zelle herrscht. Die Richtigkeit dieser Auffassung würde sich prüfen lassen, wenn es gelänge, diese Differenz zu ändern. Der Versuch mit Centrifugalkraft gestattet dies nicht, wie das folgende zeigt. Eine der Erdschwere unterworfene Flüssigkeit rotire um eine verticale Axe mit der Winkelgeschwindigkeit ω; ein Punkt befinde sich im Abstand r von der Rotationsaxe und in der Höhe

z; die Druckdifferenz (natürlich auf Flächeneinheit bezogen) zwischen ihm und einem anderen (r_0, z_0) ist dann

$$\frac{1}{2} \rho \omega^2 (r_0^2 - r^2) + \rho g (z - z_0)$$

wenn ρ die Dichte, g die Beschleunigung der Erdschwere bedeutet. Das von der Centrifugalkraft abhängige erste Glied ist aber identisch mit

$$\frac{1}{2} \rho \omega^2 (r_0 + r) (r_0 - r)$$

Bedeutet $r_0 - r$ z. B. die Dicke einer Zelle, gemessen senkrecht zur Rotationsaxe, so verhält sie sich also genau so wie eine gleich hohe, gravitirenden Kräften unterworfene, deren Beschleunigung gleich dem Mittelwerth der Centrifugalkraft ist. Die hydrostatische Druckdifferenz bleibt der Dicke der Zelle proportional; nur ändert sie sich von einer Zelle zur anderen.

[3] Ich finde in der Tyndall'schen Biographie Faraday's — welche freilich mehr einer von Eitelkeit strotzenden Selbstverherrlichung Tyndall's als einer Würdigung Faraday's gleichkommt — zwei zutreffende Stellen darüber. Er sagt: «Man hat Faraday einen ausschliesslich inductiven Forscher genannt. Ich fürchte, wenn Sie mir erlauben wollen, dies zu sagen, dass in unserem guten England eine grosse Menge von Unsinn geschwatzt wird über inductives und deductives Verfahren. Viele erklären sich für Induction, Andere für Deduction. Der Beruf eines Forschers wie Faraday besteht in Wahrheit in einer steten Vereinigung beider Methoden» — und an einer anderen Stelle: «Faraday war nie im Stande aus den Versuchen Anderer, sie mochten noch so klar beschrieben sein, sich ein Resultat zu ziehen. Er wusste wohl, dass von jedem Versuch gewissermassen eine Strahlung ausgeht, die für verschiedene Geister in verschiedener Helligkeit leuchtet und er getraute sich niemals, Schlussfolgerungen aus einem Experimente zu ziehen, das er nicht selbst gesehen hatte.»

[4] Das Energieprincip ist nur regulativ; als directives tritt der Entropiesatz hinzu. Die verschiedenen Energieformen sind nicht alle gleichwerthig. Mechanische Energie lässt sich z. B. vollauf in Wärme verwandeln, dagegen Wärme nur theilweise in mechanische; ein Rest der Wärme bleibt solche und zwar indem gleichzeitig ihre Temperatur sinkt. Im Universum vollzieht sich daher von selber ein stetiger Umsatz aus den höherwerthigen Energieformen in die minderwerthige der Wärme, deren Temperatur dabei sogar fortwährend abnimmt.

Dies ist physikalisch gesprochen, was Schopenhauer uns anthro-

pomorphisch zu erläutern bestrebt ist als den Willen in der Welt. Es vollzieht sich unabweislich der Vorgang, dass der objective Wille in der Natur erlischt — und mit ihm unser eigener.

Während einige Zeit nach Aufstellung des Energiesatzes kein Forscher mehr dasselbe einzuschränken versucht hat (obschon man sich des in letzter Instanz empirischen Charakters desselben immerfort bewusst ist), ist es bemerkenswerth, dass derartige Bemühungen gegen den Entropiesatz zu Tage getreten sind. Maxwell (Theorie der Wärme, übersetzt von Auerbach, Breslau, 1877; p. 321) versucht die den Tod des Universums voraussagende Consequenz zu umgehen, indem er fingirt, dass kleine Dämonen aus einer Gasmasse die rascheren, d. h. wärmeren Molecüle durch Oeffnungen könnten entweichen lassen, während sie den langsameren den Weg verlegen; so könne der Schöpfer doch wieder Reservoire höherer Temperatur schaffen, wogegen Clausius vom naturwissenschaftlichen Standpunkt aus gewiss mit Recht geantwortet hat (Wied. Ann. 2. p. 132, 1877), es handele sich nicht um das, was mit Hülfe kleiner Dämonen geschehen könne, sondern um das, was wirklich geschieht. — Auch Helmholtz (Gesammelte Abhandlungen II. p. 972) macht die Anmerkung (indem er Wärme als ungeordnete Bewegung bezeichnet): «Für unsere, dem Molecularbau gegenüber verhältnissmässig groben Hilfsmittel ist nur die geordnete Bewegung wieder in andere Arbeitsformen frei verwandelbar. Ob eine solche Verwandlung den feinen Structuren der lebenden organischen Gewebe gegenüber auch unmöglich sei, scheint mir immer noch eine offene Frage zu sein, deren Wichtigkeit für die Oekonomie der Natur in die Augen springt».

[5] Ueber die Vorgeschichte des Energieprincips und über wirthschaftliche Analogien vgl. Helm, die Lehre von der Energie, Leipzig, Felix 1887.

[6] Abgesehen von den bekannten Stas'schen Versuchen wurden in der Absicht einer directen Prüfung der Constanz der Masse bei chemischen Umsetzungen Beobachtungen angestellt und zwar mit der zur Zeit erreichbaren grössten Genauigkeit von Landolt, (Sitzber. Berl. Akad. 1893. p. 301—304) und Kreichgauer, (Verh. Phys Gesellsch. Berlin 1891. Nr. 2. p. 13). Letzterer findet Constanz bis auf 1 : 20 000 000.

[7] «Materielle Vorgänge» nur im Gegensatz zu psychischen. Im Uebrigen ist die Bezeichnung nicht umfassend genug; auch der massenlose Raum kann Sitz von Energien sein, z. B. wenn er von Licht durchstrahlt ist.

[8] Viele Sätze, welche als Folgerungen erscheinen, maskiren nur identische Urtheile. Wenn der Knabe den Umfang eines Baumes mit der herumgelegten Gerte abmisst, so empfindet er ganz klar, dass die Bemerkung: «die Gerte umspannt den Baum nicht, weil sie kleiner ist» nichts Anderes besagt als die Identität: «eine so beschaffene Gerte nennt man kleiner». Aber mit dieser Anregung fängt die Verallgemeinerung bei ihm an (beobachtet, nicht fingirt). — Auch viele dichterische Wahrheiten, wie «denn die Elemente hassen das Gebild der Menschenhand» verlieren ihren Reiz, wenn man, die Sache umkehrend, vom Zweck und der Entstehung der menschlichen Gebilde ausgeht. — Sätze wie: «Das Ganze ist grösser als der Theil» fallen in sich zusammen. In praxi sind solche Urtheile aber meist unschädlich. — Jedoch kann eine Bemerkung von Mach (Empfindungen, p. 165) nicht oft genug wiederholt werden: «Die Methode des Euklides ist gewiss vortrefflich für den Unterricht reifer Männer mit reicher geometrischer Erfahrung. Sie dient dazu, sich vor den möglichen Irrthümern zu schützen, die man kennen gelernt hat. Dass nach dieser Methode beim Jugendunterricht nicht noch schlechtere Erfolge erzielt werden, liegt nur daran, dass eben Niemand ganz ohne geometrische Erfahrung in die Hände des Pädagogen geräth».

[9] Ein solcher Fall ist z. B. die Entstehung electrischer Energie aus chemischer in der galvanischen Kette. Wir wissen nach dem Faraday'schen Gesetz, dass electrische Strömung und chemische Zersetzung mit einander quantitativ verknüpft sind, wir wissen aber nicht, ob der chemische Process das Frühere ist und der Strom die Folge oder umgekehrt. Es genügt auch zu wissen, dass eine eindeutige umkehrbare Beziehung zwischen beiden besteht. — Heute nimmt man an, dass chemische und electrische Processe bei der Kette nur verschiedene Erscheinungsformen desselben Vorganges sind. Damit fällt die Frage nach dem prius von selber. — In derselben Weise wird man am einfachsten psychische Processe in ihren Beziehungen zu physiologischen auffassen (vgl. Lange, Geschichte des Materialismus. 2. Aufl. Bd. II. p. 374). Die ersteren sind eine Erscheinungsform eines Vorganges, dessen voraussichtlich sehr verschiedene physischen Seiten sich in einen Energieumsatz zusammenrechnen lassen. — Wir können denselben chemischen Process, der in der Kette unter Bildung electrischer Energie verläuft, auch als rein chemischen Vorgang sich abspielen lassen. Im letzteren Fall tritt ein der nicht erzeugten electrischen Energie entsprechendes Quantum Wärme mehr auf. Wollte man ähnlich einfache physiologische Fälle construiren, so würde die Frage, ob mit der Entstehung psychischer

Processe das Verschwinden eines Energiequantums in der physischen Welt Hand in Hand geht, naturwissenschaftlich betrachtet gewiss noch legitim sein. Eine Fortführung dieser — einmal hypothetisch zugelassenen — Annahme führt aber, soweit ich sehe, zu keinem greifbaren Resultat, weil uns für psychische Vorgänge Sätze fehlen, welche etwa den physikalischen Gleichgewichtsbedingungen — und wäre es auch nur in der rohesten Form des Temperaturgleichgewichtes — entsprechen. Die einfachere Auffassung ist jedenfalls die: psychische Vorgänge als energielose Erscheinungsformen zu betrachten, welche aber mit Energiewandlungen in der physischen Welt eindeutig aber vielleicht nicht umkehrbar verknüpft sind. Wo die Schwierigkeiten für einen Ansatz liegen, mag der folgende, wenn auch hinkende Vergleich andeuten. Wir wollen uns denken, dass mit electrolytischen Processen Farbenänderungen in den stromdurchflossenen Flüssigkeiten verbunden wären; die eine werde roth, eine andere blau gefärbt etc. Wir könnten diese Farbenänderungen, richtig formulirt, geradezu als Mass für gewisse gut bestimmte Energieumsetzungen benutzen. Und doch würde es uns schwer fallen, selbst wenn die Färbungen in jeder gewünschten Weise quantitativ definirt wären, überhaupt nur eine Frage zu erfinden, welche dahinzielt, aus Energien, welche sich auf diese Farben (die Erscheinungsformen) beziehen, einen Schluss zu machen auf diejenigen Energieumsätze, als deren empirisches Mass sie sicher betrachtet werden können.

[10] In der Formulirung des Energieprincips liegt eine Apriorität ganz anderer Art als im qualitativ- logischen oder quantitativ- mathematischen, sei es abstracten, sei es physikalisch angewendeten Denken, welche letzteren nach der Kant'schen Auffassung nothwendig mit der Realität übereinstimmen müssen. Das Gleiche gilt auch vom Energieprincip (Princip der Arbeit, der lebendigen Kraft) im Rahmen der analytischen Mechanik; dort sagt es nur etwas formal Neues aus, da es nur als eine mathematische Transformation des numerischen Ausdruckes der Kraft erscheint. Giebt man den letzteren als mit der Natur übereinstimmend gebildet zu, so kann man sagen, es handle sich — wie in allen gleichartigen Anwendungen der Mathematik auf Physik — um eine a priori klare quantitativ homogene Causalität. Wird aber ein derartiges Princip apriorisch verallgemeinert, so verlangt unser Geist auch da noch homogene Causalität zu finden, wo die Dimensionen der mit einander verknüpften Grössen wie (Wärme und Arbeit) zunächst heterogen erscheinen und aus ihren numerischen Definitionen gar keine Beziehung ableitbar ist.

[11] Vgl. über das Causalitätsbedürfniss (als Stützung schwächerer Gedanken durch stärkere) die Ausführungen von Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen, Jena, Fischer 1886 p. 141, insbesondere p. 159 ff. «Divinatorisch anticipirt» soll natürlich nicht etwa bedeuten «losgelöst von der Erfahrung», im Gegentheil: von ihr angeregt und sie durchmusternd. Bezeichnend für diese Art ist, was Galiläi in seinen Discorsi gelegentlich (3. und 4. Tag p. 103 in der Ostwald'schen Klassikerausgabe) den Salviati sagen lässt: «Ich habe einige Zeit darüber nachgedacht, meine Verwirrung nahm aber zu, bis ich endlich, bei einer Begegnung mit unserem Akademiker doppelt getröstet ward: erstlich erfuhr ich, dass auch er lange Zeit dieselbe Dunkelkeit empfunden hatte, dann aber sagte er mir, dass er nach einem Opfer von vielen Tausend Stunden seines Lebens durch Nachsinnen und Forschen einiges erkannt habe, was sich weit von unseren unmittelbaren Vorstellungen entfernt, und was er fand, war neu und wegen der Neuheit merkwürdig.»

[12] Ein anderer Weg deductiver Forschung geht aus von bekannten Thatsachen und operirt nur mit logischen Schlüssen. Hier müssen wir — Folgerichtigkeit der Schlüsse vorausgesetzt — wieder zu Richtigem kommen. Noch immer hat eine experimentelle Prüfung dies bestätigt. Eine jede solche Bestätigung verstärkt unsere Ueberzeugung von der logischen Begreiflichkeit der Natur. Auch da wo eine Prüfung — etwa in Folge der Kleinheit der Wirkungen — ausgeschlossen ist, halten wir uns an die Folgerung gebunden.

[13] Man könnte einwenden: aus zwei Energieformen — der mechanischen und der calorischen — leitet sich unser Satz empirisch ab, und die Thatsache, dass wir die allgemeinst verwandelbare Energieform einerseits, die geringwerthigste — der Wärme — andererseits kennen, genügt. Hier entsteht aber die Gegenfrage: warum setzt sich Wärme nicht theilweise in eine noch niedrigere Energieform um, für die uns der Sinn fehlt und den wir um so eher vielleicht entbehren könnten, als er für unsere physiologische Existenz gar keinen Werth hat. — Das Aprioristische im Energieprincip betr. vgl. u. A. Helm und Mach l. c., welcher erstere auch sehr richtig hervorhebt, dass die Differenzen in den Joule'schen Zahlen eher als ein experimenteller Gegenbeweis hätten betrachtet werden können. Besser bestätigen Aenderungen der Versuchsanordnung bei gleich bleibenden Fehlerquellen die aprioristische Anschauung, also z. B. der Nachweis, dass die Art der Reibung, durch welche der Umsatz der mechanischen Arbeit in Wärme vollzogen wird, die directen unter sonst gleichen Umständen erhaltenen Beobachtungszahlen nicht ändert.

[14] Abgesehen von Längenvergleichungen, für welche wir uns wenigstens ein annäherndes Urtheil zutrauen, gewinnen wir ein Mass nur durch logische Operationen in Verbindung event. mit willkürlichen Festsetzungen (insbesondere beim Temperaturmass), z. B. Helligkeitsvergleichungen, Bestimmung von Gewichten, Trägheitsmomenten etc.





